

APLIKASI METODE SWEETNESS DAN SPECTRAL DECOMPOSITION UNTUK IDENTIFIKASI AWAL POTENSI HIDROKARBON DI PERAIRAN UTARA BALI

THE APPLICATION OF SWEETNESS AND SPECTRAL DECOMPOSITION METHODS FOR INITIAL POTENTIAL HYDROCARBON IDENTIFICATION AT NORTH BALI WATERS INDONESIA

Shaska Ramadhan Zulivandama^{1*}, G.M. Hermansyah¹, Egie Wijaksono²

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjuna 236, Bandung-40174, Indonesia

²Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi, Jalan Ciledug Raya Kav.109 Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230, Indonesia.

*email: s.zulivandama@mgi.esdm.go.id

Diterima : 06-02-2018 , Disetujui : 30-05-2018

ABSTRAK

Semakin menipisnya cadangan minyak dan gas bumi di Indonesia mendorong kita untuk terus melakukan kegiatan eksplorasi minyak dan gas bumi. Tujuan penelitian ini ialah untuk mengidentifikasi hidrokarbon di Perairan Utara Bali sehingga bisa menambah data sumberdaya minyak dan gas bumi yang dimiliki Indonesia. Hubungan antara frekuensi dengan batuan yang tersaturasi fluida dapat mengindikasikan keberadaan hidrokarbon. Metode *sweetness* dan *spectral decomposition* merupakan metode yang memanfaatkan analisis pada domain frekuensi dan tidak bergantung kepada panjang offset lintasan sesimik yang merupakan permasalahan utama saat melakukan akuisisi data seismik di laut. Hasil penelitian ini menunjukkan metode atribut *sweetness* dapat mengidentifikasi keberadaan hidrokarbon memiliki nilai sebesar 1600 – 2200 dimana nilai ini sangat bergantung dengan nilai amplitudo dan frekuensi pada daerah penelitian. Sementara itu keberadaan potensi hidrokarbon pada metode *spectral decomposition* ditunjukkan oleh nilai frekuensi 30 Hz. Baik metode atribut *sweetness* ataupun *spectral decomposition* dapat mengidentifikasi keberadaan hidrokarbon di Perairan Utara Bali.

Kata kunci: Seismik, Sweetness, Spectral Decomposition, Hidrokarbon

ABSTRACT

The decreasing of oil and gas reserves in Indonesia impelling us to expand our oil and gas exploration activities. This study was conducted to identify hydrocarbon in the North Waters of Bali so Indonesian oil and gas resources will be augmented. The relationship between frequency and fluid saturated rocks can indicate the presence of hydrocarbon. Sweetness and spectral decomposition is a frequency domain based method and does not depend on the length of offset of the seismic trajectory which is a major problem when acquiring seismic data at sea. The results of this study show that the attribute method of sweetness can identify the presence of hydrocarbons at ranged values between 1600 – 2200, these values depend on the value of amplitude and frequency of the research area. On the other hand, potential of the presence of hydrocarbon identified by the spectral decomposition method is indicated by certain frequency (30 Hz). So from our results both attribute, sweetness and spectral decomposition can identify the presence of hydrocarbons in the North Bali's Sea.

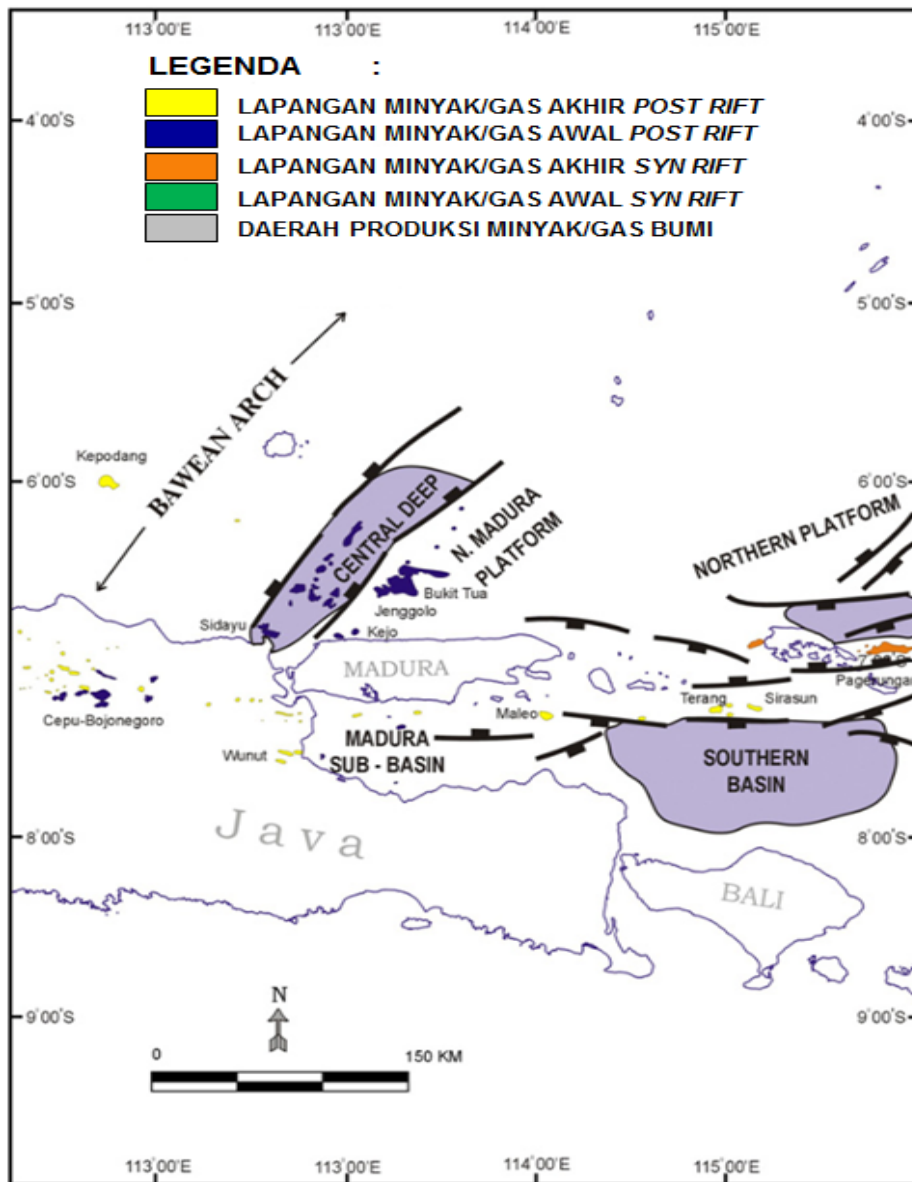
Keywords: Seismic, Sweetness, Spectral Decomposition, Hydrocarbon

PENDAHULUAN

Cadangan minyak dan gas bumi yang dimiliki Indonesia semakin menipis sedangkan kebutuhan akan kedua sumber daya tersebut semakin meningkat, oleh karena itu kegiatan eksplorasi untuk menemukan cadangan – cadangan minyak dan gas bumi baru sangat penting untuk dilakukan.

Sayangnya kondisi industri perminyakan yang sedang jatuh mengakibatkan kegiatan eksplorasi untuk menemukan daerah yang berpotensi sebagai ladang minyak dan gas bumi baru terhambat (Kementerian ESDM, 2017).

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi gas yang berada di



Gambar 1. Geologi Regional Cekungan Jawa Timur Utara – Bali (Doust dan Noble 2008)

Perairan Utara Bali, dimana menurut Satyana (2007) daerah ini memiliki potensi keberadaan hidrokarbon khususnya gas. Gas pada data seismik dapat diidentifikasi dengan adanya perubahan nilai amplitudo gelombang refleksi terhadap sudut datang, dimana sudut datang tersebut berhubungan langsung dengan *offset* (Allen dkk, 1993). Penelitian ini menggunakan data yang didapatkan dari PUSDATIN ESDM dimana sebelumnya data ini dimiliki oleh Atlantic Richfield Bali North INC. yang akuisisi datanya sendiri dilakukan oleh DELTA EXPLORATION COMPANY INC., pada tahun 1981. Penelitian ini juga menggunakan data yang diambil secara mandiri oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (PPPGL) ketika dilakukan

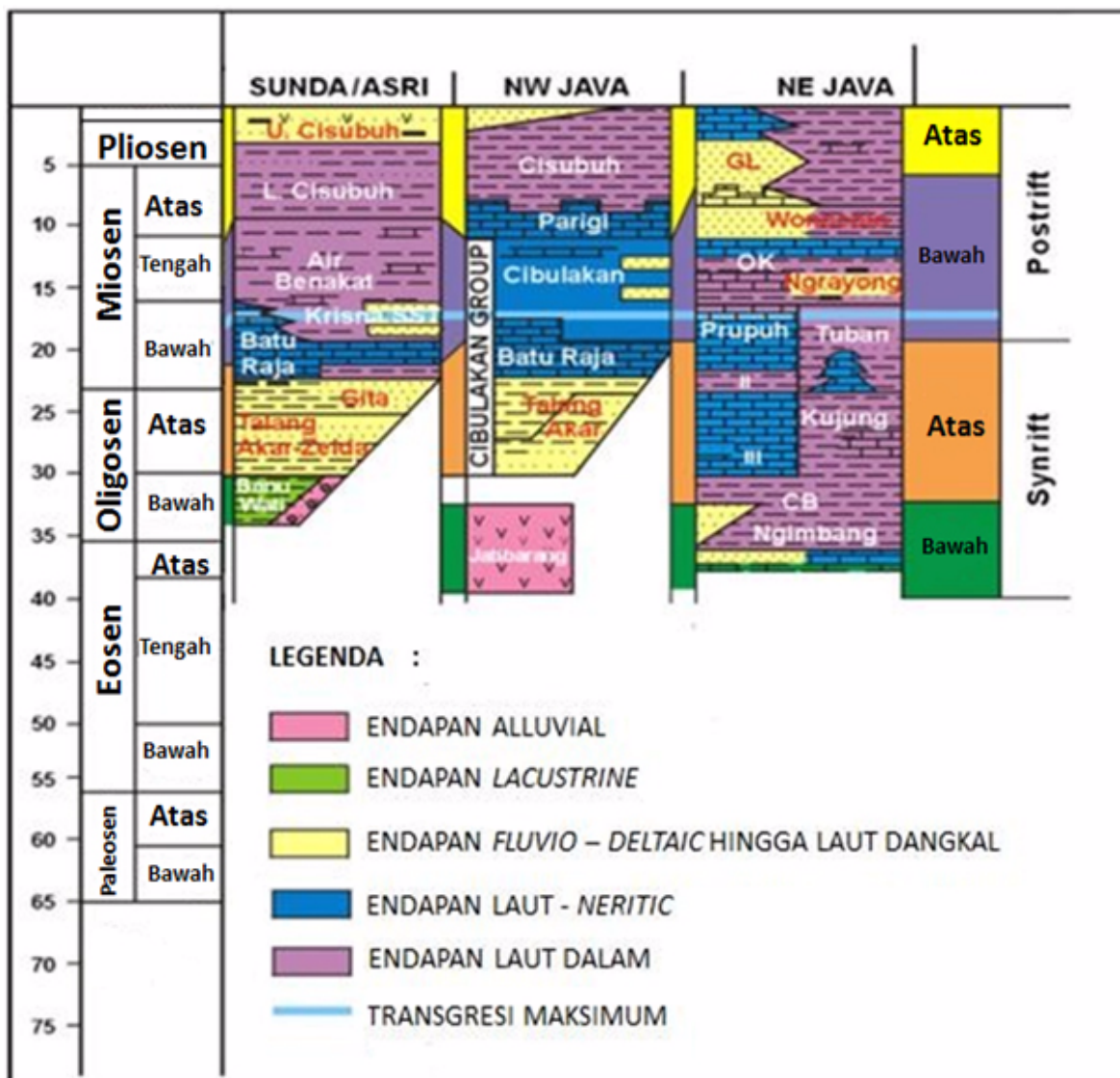
kegiatan penelitian Tim Penelitian Gas Biogenik di perairan Utara Bali pada tahun 2017.

Seperti yang telah disampaikan sebelumnya metode untuk mengidentifikasi keberadaan gas yang umum dilakukan ialah dengan menganalisis perubahan amplitudo terhadap *offset*/jarak, namun sayangnya metode tersebut tidak dapat diaplikasikan karena untuk melakukannya diperlukan data seismik yang memiliki *offset* cukup panjang, sedangkan data seismik yang didapatkan dari Pusdatin ESDM berupa data yang telah *distack (zero offset)* dan data seismik yang didapatkan dari hasil akuisisi di lapangan memiliki *offset* yang terbatas, oleh karena itu diperlukan metode lain untuk memetakan potensi hidrokarbon di daerah Perairan Utara Bali ini.

Salah satu cara lain tersebut ialah melihat pengaruh antara keberadaan hidrokarbon didalam medium berpori yang tersaturasi fluida terhadap frekuensi dari data seismik (Kornev dkk., 2004; Goloshubin dkk., 2001 dan Goloshubin dkk., 2002 dalam Sudarmadji 2013) dimana sinyal frekuensi rendah yang terdapat pada data seismik merupakan indikasi keberadaan zona *reservoir* (Goloshubin dkk., 2006).

Lokasi Penelitian ini terletak di Perairan Utara Bali yang termasuk kedalam Cekungan Jawa Timur Utara (Gambar 1) letak Cekungan Bali sendiri berada disebelah Tenggara Cekungan Jawa Timur Utara. Sebelah barat dari Cekungan Jawa Timur Utara dibatasi oleh Busur Karimun Jawa yang mana memisahkannya dengan Cekungan Jawa Barat Utara. Bagian Selatan Cekungan Jawa

Timur dibatasi oleh busur vulkanik sedangkan sebelah Utaranya dibatasi oleh Tinggian *Paternoster*, yang memisahkan Cekungan Jawa Timur Utara dengan Selat Makasar. Berdasarkan posisinya, Cekungan Jawa Timur Utara dapat dikelompokkan sebagai cekungan belakang busur dan berada pada batas tenggara dari Lempeng Eurasia (Mudjiono dan Pireno, 2002). Berdasarkan stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara (Gambar 2) formasi batuan yang menjadi *reservoir* utama di cekungan ini ialah batu pasir Formasi Ngimbang bagian bawah, Karbonat Ngimbang bagian atas dan karbonat Formasi Kujung yang seluruhnya berumur Eosen – Oligosen dan umumnya terletak di kedalaman lebih dari 6000 kaki (Doust dan Noble 2008).



Gambar 2. Stratigrafi Cekungan Sunda/Asri, Jawa Barat Utara dan Jawa Timur Utara (Modifikasi dari Doust dan Noble, 2008)

Namun selain itu terdapat pula potensi hidrokarbon pada formasi batuan yang lebih muda berumur Miosen - Pliosen (Formasi Cepu–Mundu) dimana batuan ini merupakan target utama pada penelitian ini.

METODE

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa 2 (dua) data lintasan seismik 2-D (data seismik PUSDATIN LINTASAN 1 dan PUSDATIN LINTASAN 2) serta menggunakan 1 (satu) data hasil pemboran (data hasil *coring* dan *logging* dari sumur - 1) kedua data tersebut didapatkan dari Pusdatin ESDM.

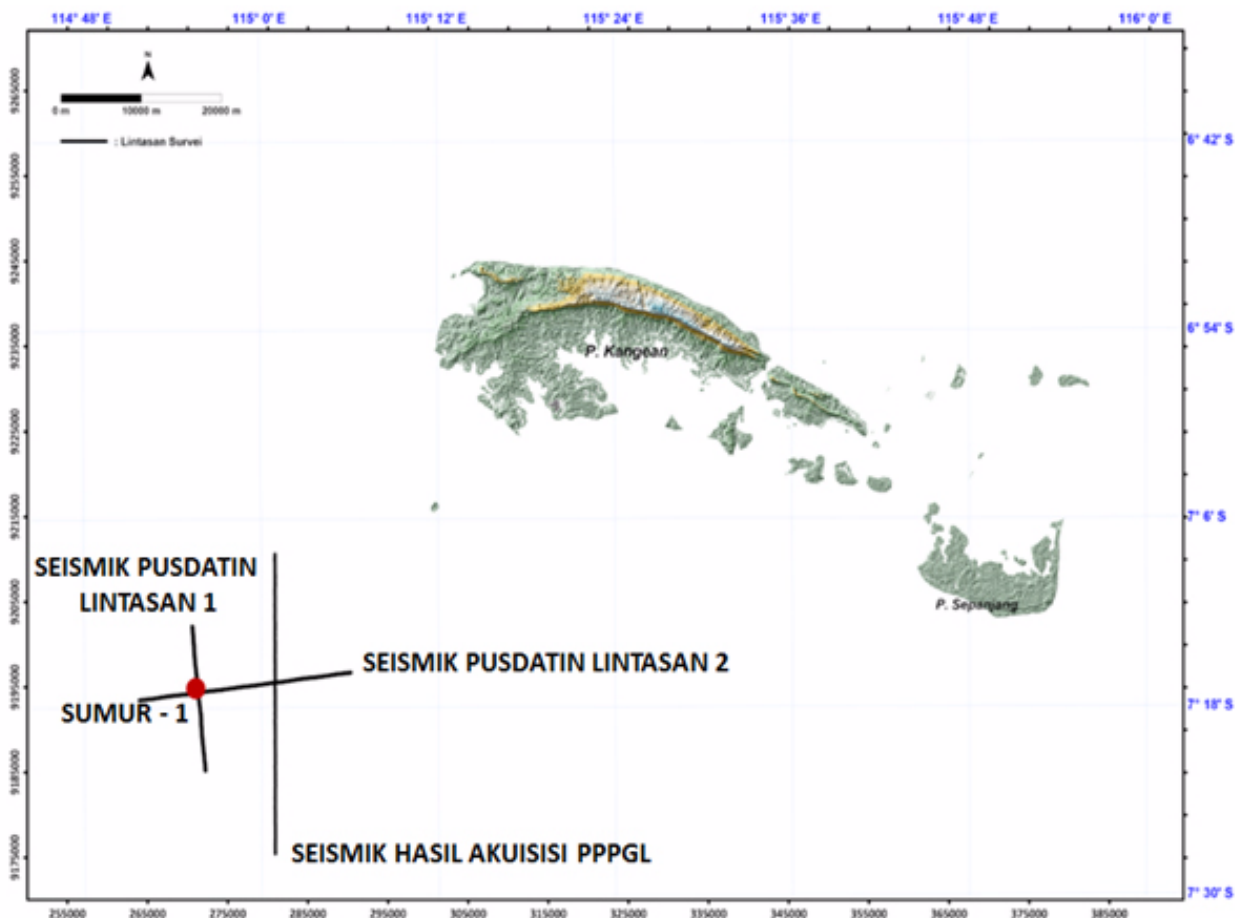
Kedua data sekunder ini merupakan hasil pengambilan data pada tahun 1980-an sedangkan data primer yang digunakan merupakan hasil akuisisi yang dilakukan oleh PPPGL pada tahun 2017 menggunakan kapal riset Geomarin III. Metode yang digunakan pada penelitian ini ialah integrasi antara hasil analisa data *coring* Sumur – 1 yang didapatkan dari Pusdatin ESDM dan data *logging* pada Sumur – 1 yang juga didapatkan dari Pusdatin ESDM serta untuk mengidentifikasi

keberadaan hidrokarbon dilakukan dengan melihat hubungan antara frekuensi dan medium yang tersaturasi fluida.

Metode *sweetness* dan *spectral decomposition* merupakan metode yang memanfaatkan analisis frekuensi dan tidak bergantung kepada panjang *offset* lintasan sesimik yang merupakan permasalahan utama saat melakukan akuisisi data seismik di laut.

Analisis *corring* dan *logging* (analisis *petrophysical*)

Data *corring* adalah hasil pengambilan sampel batuan pada interval tertentu dari lubang bor. Berdasarkan hasil analisis *Gas Chromatography* (GC) pada batuan hasil *coring* yang dilakukan di Sumur – 1 (Gambar 3) diketahui bahwa indikasi gas muncul pada lapisan batu pasir sisipan lempung yang berada pada zona N21 – N20 (Tabel 1). Pembagian zona ini didapatkan dari analisis biostratigrafi untuk mengetahui umur relatif suatu batuan sedimen berdasarkan pengetahuan tentang fosil. Selanjutnya dilakukan analisis data *logging* pada beberapa data *log* di Sumur – 1 untuk menentukan daerah yang berpotensi menjadi



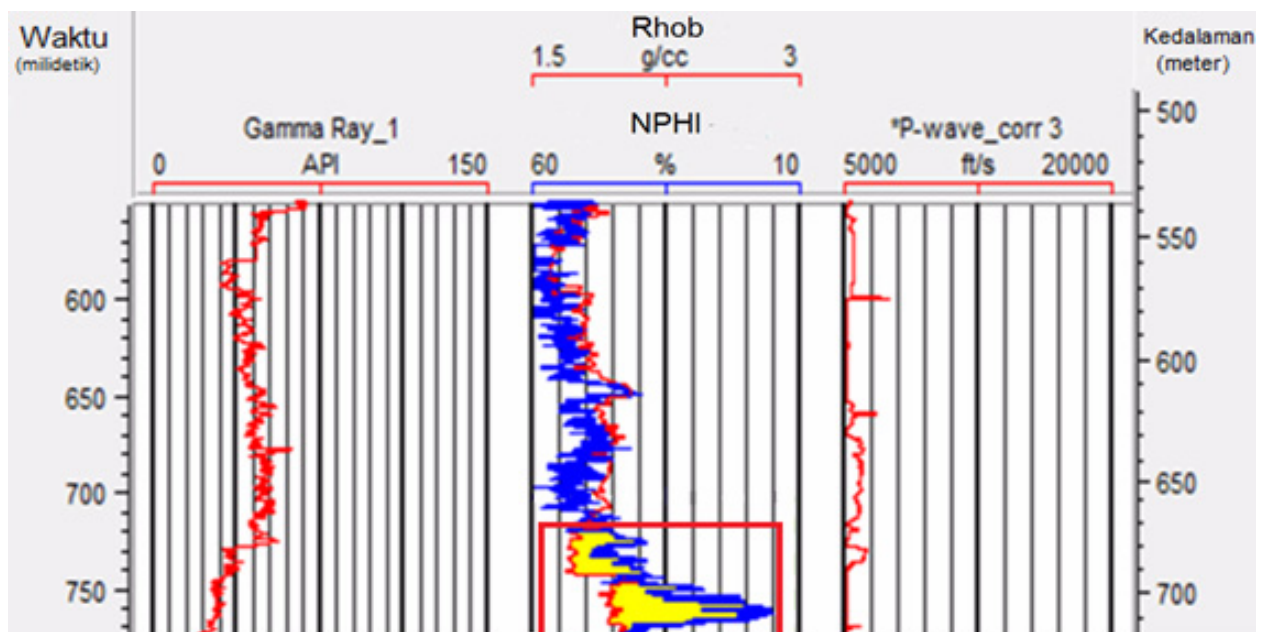
Gambar 3. Lokasi data seismik dan sumur Perairan Utara Bali

Tabel 1. Analisis data coring pada Sumur-1 (analisis dilakukan oleh LEMIGAS atas permintaan Atlantic Richfield Indonesia Inc. pada tahun 1982)

ZONA	KEDALAMAN (meter)	DESKRIPSI BATUAN	DATA GEOKIMIA
N23 – N24	... - 219,5		
N22 – N 23	219,5 – 621,8	Batuan lempung berseling batu pasir dengan lempung	Kedalaman 518,2 – 609,6 m terdapat peningkatan kandungan organik
N21 – N20	621,8 – 682,8	Batu pasir halus, batu pasir berwarna coklat kekuningan dan batu lempung mengandung <i>pyrite</i> .	Kedalaman 670,6 terdapat kemunculan gas (diindikasikan sebagai <i>reservoir</i>)
N19	682.8 – 731,5	Batu pasir lempungan, batu pasir berwarna abu – abu dengan butiran pasir karbonatan	

reservoir hidrokarbon (Gambar 4). *Logging* merupakan suatu teknik untuk mendapatkan data bawah permukaan dengan menggunakan alat ukur yang dimasukkan ke dalam lubang sumur (Schlumberger, 1958). Pada penelitian ini beberapa log yang digunakan untuk analisis *reservoir* adalah *log gamma ray*, *density* (RHOB) dan *Neutron Porosity Hydrogen Index* (NPHI). *Log gamma ray* ialah *log* yang digunakan untuk mengukur intensitas radioaktif yang dipancarkan batuan (Bassiouni, 1994) pada umumnya batuan lempung/serpih merupakan batuan yang memiliki komposisi radioaktif yang tinggi yaitu rata – rata 6 ppm Uranium, 12 ppm Thorium dan 2% Potassium

sehingga dengan menggunakan *log gamma ray* ini kita bisa memisahkan antara batu serpih atau non-serpih. RHOB menunjukkan besarnya densitas batuan yang ditembus lubang bor (Dewan, 1983). Pada umumnya penggunaan *log* RHOB pada analisis *reservoir* digunakan bersamaan dengan *log* NPHI dimana menurut Schlumberger (1958) *log neutron* berguna untuk penentuan besar porositas batuan. Penggunaan *log* RHOB dan NPHI sangat membantu dalam penentuan *reservoir* terutama pada *reservoir* klastik dimana indikasi keberadaan hidrokarbon terjadi bila *log* RHOB menurun sedangkan nilai *log* NPHI meningkat (Nasser dan Asim, 2017), hal ini dapat terlihat berdasarkan



Gambar 4. Data log RHOB dan NPHI dari Sumur - 1 yang didapatkan dari Pusdatin ESDM.

analisis data *logging*, dimana *crossover* antara nilai *log* RHOB dengan *log* NPHI terjadi pada kedalaman 621,8 – 672 meter dan berdasarkan *log gamma ray* yang rendah terlihat bahwa batuan *reservoir* ini merupakan batu non-serpilh.

Metode Atribut *Sweetness*

Sebelum dilakukan metode atribut *sweetness* dan *spectral decomposition* perlu dilakukan *well seismic tie* antara data seismik dengan data Sumur-1. Hal ini bertujuan untuk menyelaraskan antara data sumur yang berdomain kedalaman (*depth*) dengan data seismik yang memiliki nilai kedalaman dalam domain waktu. Dari hasil data seismik yang telah diikat dengan data sumur (*well seismic tie*) dapat diketahui kedalaman *crossover* yang mencirikan target utama penelitian ini sesuai dengan kedalaman 719 – 773 milidetik pada data seismik. Metode *sweetness* sendiri adalah hasil dari amplitudo sesaat dibagi dengan akar kuadrat frekuensi (1).

$$\frac{a(t)}{\sqrt{fa(t)}} \quad (1)$$

Kehadiran hidrokarbon akan meningkatkan nilai amplitudo pada data seismik dan memperkecil nilai frekuensi sehingga indikasi keberadaan hidrokarbon ditunjukkan oleh nilai yang tinggi pada hasil atribut *sweetness* (Koson dkk.,2014). Tahapan selanjutnya adalah menerapkan metode atribut *sweetness* dan *spectral decomposition* pada data seismik hasil *well seismic tie* tersebut.

Metode Atribut Spectral Decomposition

Metode atribut *spectral decomposition* ialah metode untuk membagi data seismik berdasarkan frekuensi untuk mendapatkan informasi tentang lapisan batuan yang berupa lapisan tipis dan diskontinuitas geologi pada suatu data seismik (Partyka, dkk.,1999), namun dikarenakan respon frekuensi tinggi pada sebuah reflektor dapat teratenuasi oleh kehadiran kompresi fluida, *spectral decomposition* dapat pula membantu mendeteksi keberadaan hidrokarbon Castagna, dkk., 2003) hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Suprijitno, dkk., (2012) bahwa batuan yang tersaturasi gas akan memiliki amplitudo terbesar pada frekuensi 20 – 30 Hz (nilainya berbeda – beda pada setiap lapangan penelitian). Analisis pada data seismik menggunakan *software Hampson Russel* (ditunjukkan pada gambar 5 dan 6) dikedalaman 719 – 773 milidetik yang merupakan daerah yang mengandung hidrokarbon berdasarkan data sumur

menunjukkan frekuensi dominan pada kedalaman ini berada pada nilai 30 Hz.

Analisis *Coring dan logging*

Berdasarkan analisis GC pada data *core* dan data *log gamma ray* di hasil pemboran di Sumur - 1 (Gambar 4) didapatkan kandungan metana sebesar 2.823 ppm pada batuan pasir sisipan lempung (ditunjukkan oleh nilai yang kecil pada *log gamma ray*) di kedalaman 2.000 – 2.100 feet atau 500 – 700 meter. Indikasi *reservoir* tersebut juga bisa dilihat pada data *logging* terlihat adanya penurunan nilai *log* RHOB (berwarna merah) sedangkan nilai *log* NPHI (berwarna biru) mengalami peningkatan, dimana sudah umum diketahui apabila terdapat *crossover* antara data *log* RHOB dan NPHI menandakan adanya potensi hidrokarbon (Naseer dan Asim 2017).

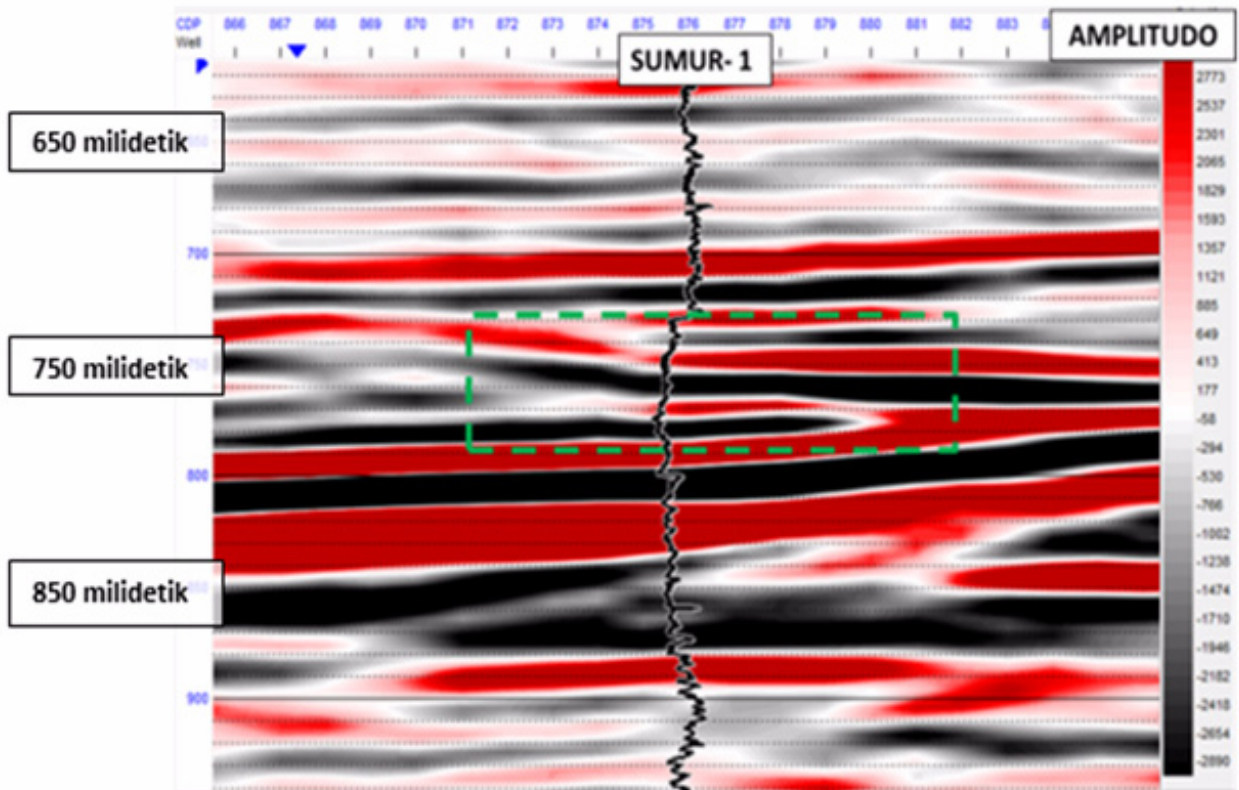
Analisis Metode Atribut *Sweetness*

Keberadaan hidrokarbon/gas yang muncul pada hasil analisis *coring dan logging* muncul pada hasil metode atribut *sweetness* pada data seismik PUSDATIN LINTASAN 1 dan 2 yang ditunjukkan oleh kotak merah pada Gambar 7 dan 8.

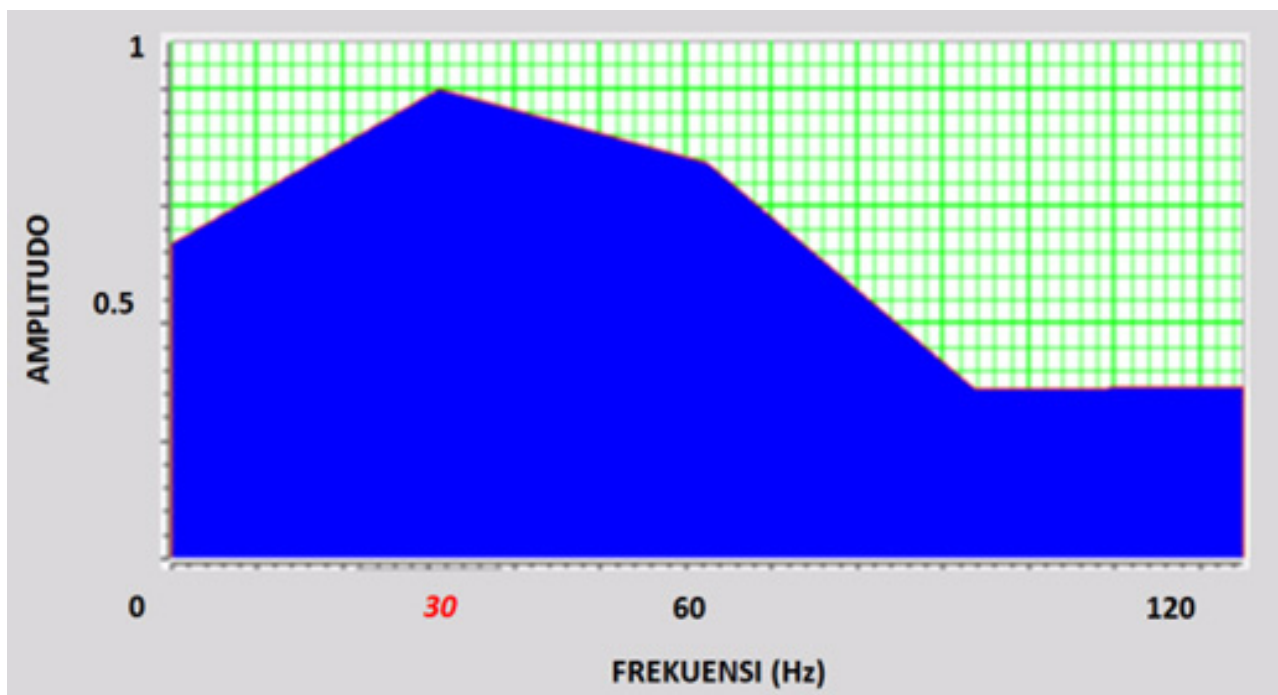
Seperti yang terlihat pada persamaan (1) bahwa nilai atribut *sweetness* sangat bergantung pada amplitudo (RC) sehingga anomali yang dihasilkan dari metode ini harus disesuaikan dengan data sumur terlebih dahulu. Indikasi keberadaan hidrokarbon ditunjukkan oleh nilai yang tinggi diwakili oleh warna kuning, sedangkan warna biru tua – biru muda menunjukkan nilai yang rendah pada atribut ini. Nilai yang tinggi pada atribut *sweetness* megindikasikan suatu *reservoir* hidrokarbon, sementara nilai yang rendah menandakan batuan tudungnya (Naseer dan Asim 2017). Anomali tersebut muncul pula pada data seismik Lintasan 2. Pada hasil atribut ini, dapat terlihat adanya anomali pada kedalaman dangkal (719 – 773 milidetik). Sementara itu pada hasil atribut *sweetness* pada lintasan hasil akuisisi PPPGL (Gambar 9), anomali nilai yang tinggi (1.600 – 2.200) juga muncul pada daerah yang relatif lebih dangkal yaitu kedalaman kurang dari 1.000 milidetik. Anomali ini menunjukkan adanya potensi keberadaan hidrokarbon pada batuan yang berumur muda (Miosen Akhir hingga Pliosen).

Analisis Metode Atribut *Spectral Decomposition*

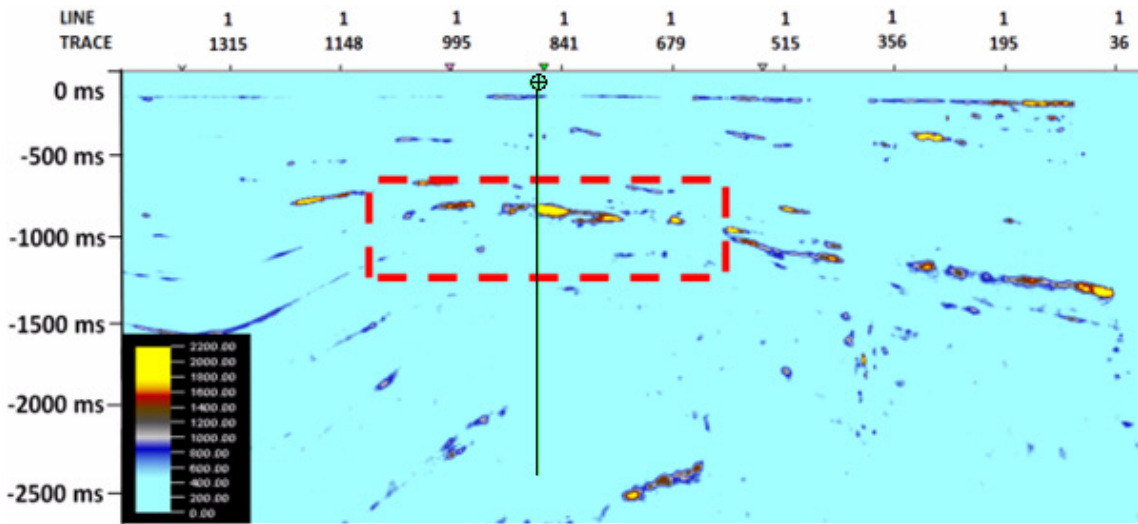
Selanjutnya dilakukan metode atribut *spectral decomposition* pada *Common Depth Point* (CDP) 876 yang merupakan CDP yang berhimpitan dengan data sumur pemboran (Gambar 10), hal ini bertujuan untuk melihat hubungan antara



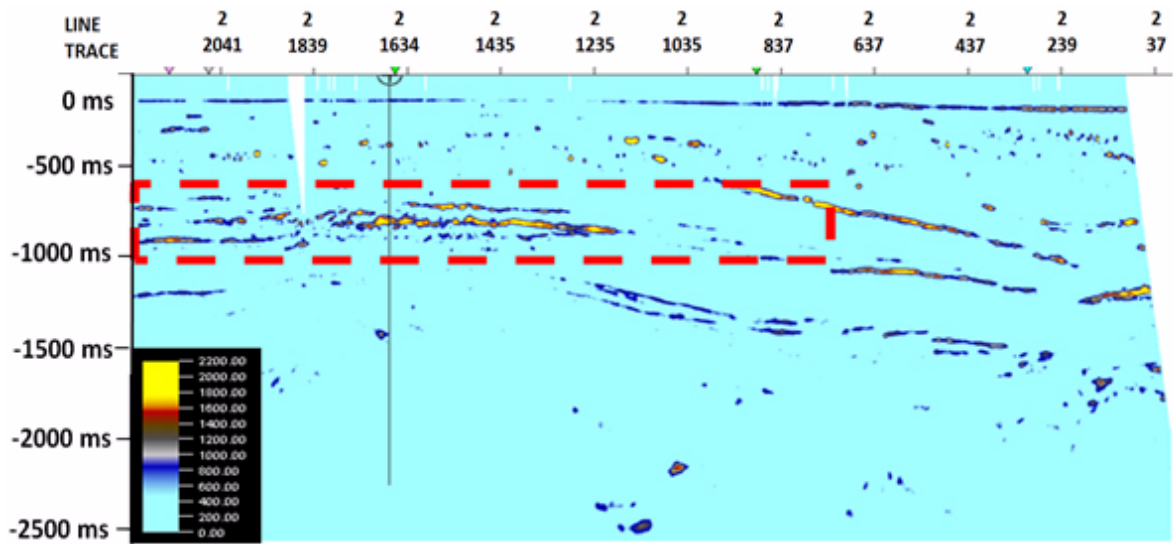
Gambar 5. Target pada data seismik



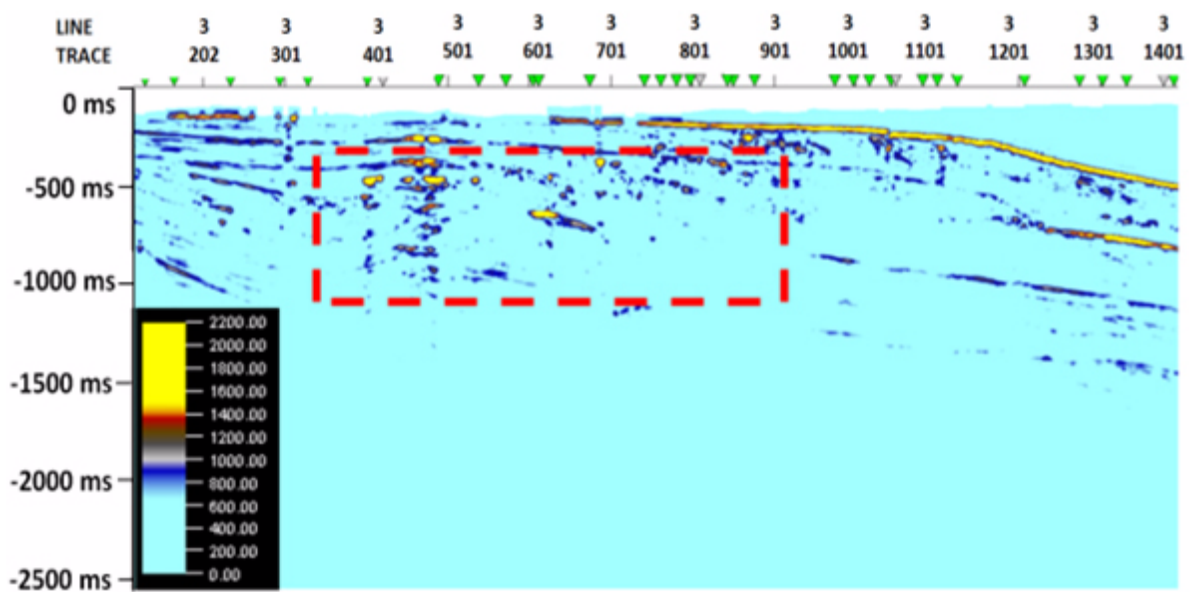
Gambar 6. Spektrum Amplitudo dari data seismik Pusdatin pada daerah target (kotak hijau pada Gambar 5).



Gambar 7. Hasil atribut sweetness pada data seismik PUSDATIN LINTASAN 1



Gambar 8. Hasil atribut sweetness pada data seismik PUSDATIN LINTASAN 2

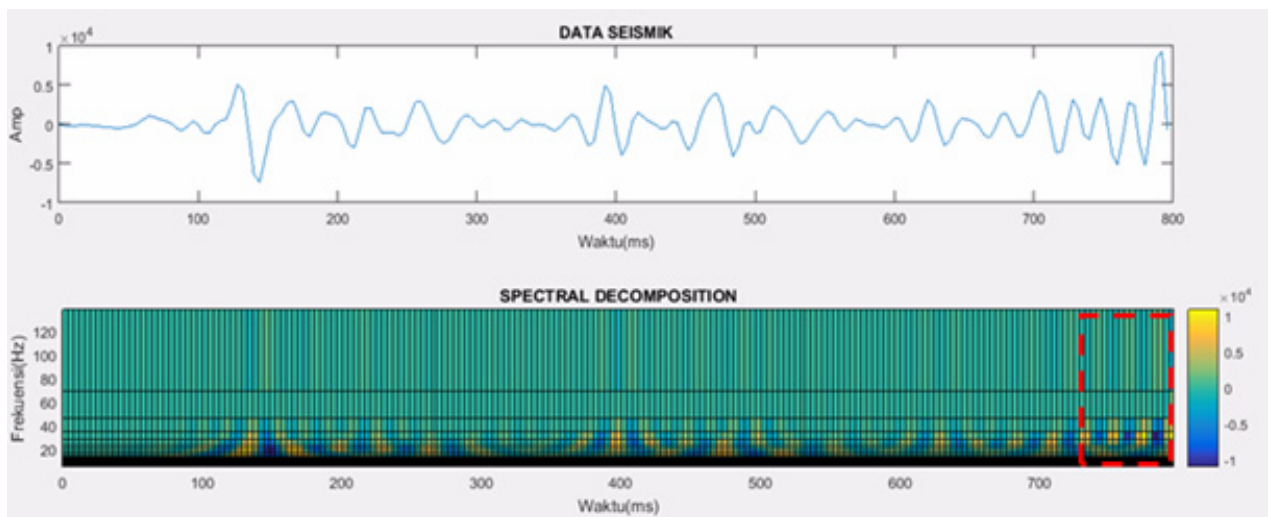


Gambar 9. Hasil atribut sweetness pada data seismik hasil akuisisi PPPGL

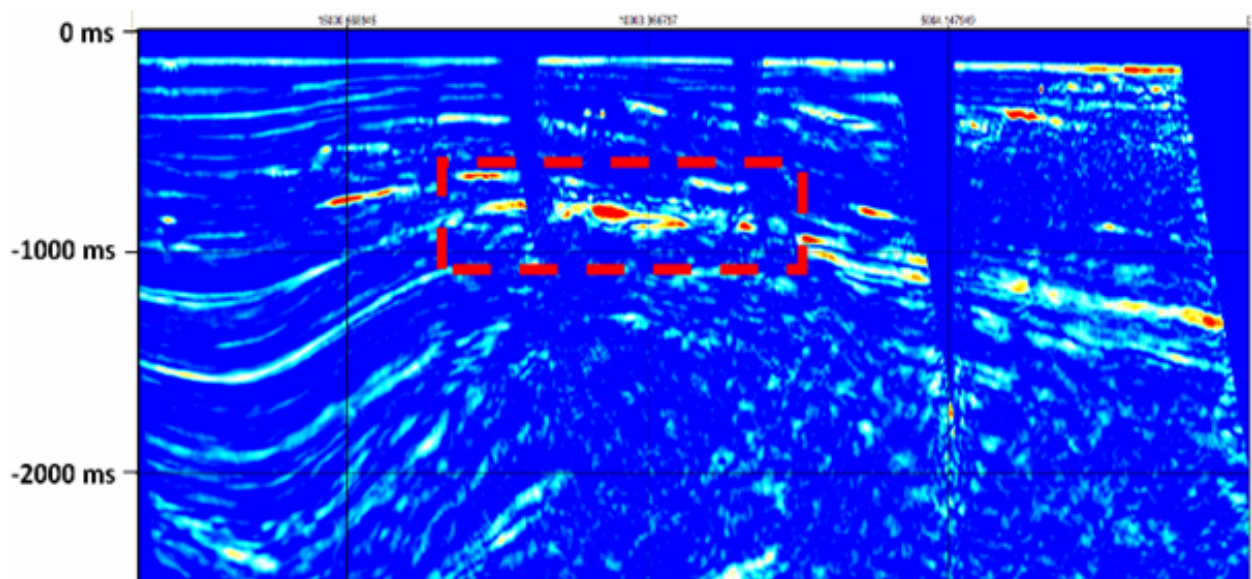
keberadaan fluida pada data *logging* dengan frekuensi data seismik. Dari hasil atribut *spectral decomposition* pada CDP 876, terdapat anomali yang kuat pada kedalaman 719 – 773 milidetik dimana amplitudo terbesar ditampilkan oleh warna kuning terang yang menunjukkan anomali tersebut berada pada rentang 20 - 30 Hz. Penelitian mengenai identifikasi hidrokarbon menggunakan metode atribut *spectral decomposition* yang sebelumnya dilakukan oleh Naseer dan Asim (2017) menunjukkan *reservoir* gas berada pada nilai frekuensi sekitar 30 Hz (28 Hz)

Hasil dari penelitian ini bersesuaian pula dengan yang dilakukan oleh Suprijitno dkk (2012), bahwa batuan yang tersaturasi gas akan memiliki amplitudo terbesar pada frekuensi 20 – 30 Hz . Selanjutnya dengan metode *spectral decomposition* pada data seismik Pusdatin ataupun hasil akuisisi

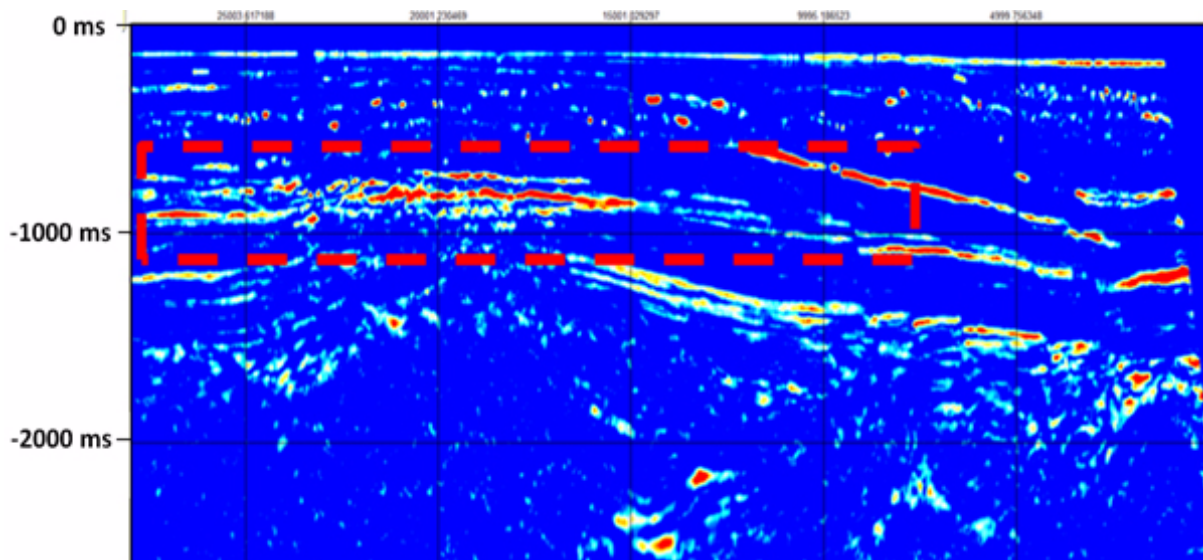
PPPGL kita bisa mendapatkan penampang frekuensi 30 Hz sehingga lebih bisa memperlihatkan persebaran potensi hidrokarbon. Metode *spectral decomposition* frekuensi 30 Hz memperlihatkan indikasi keberadaan hidrokarbon, ditunjukkan oleh warna merah, yang letaknya sesuai dengan hasil metode atribut *sweetness*. Kedua atribut ini menunjukkan indikasi keberadaan hidrokarbon berada pada kedalaman 700 milidetik – 1000 milidetik (Gambar 11 dan 12), dari kedua hasil tersebut sesuai dengan daerah target penelitian yang didapatkan berdasarkan analisa *coring* dan *logging*. Hasil metode *spectral decomposition* pada data seismik hasil akuisisi PPPGL menunjukkan terdapat pula anomali amplitudo yang kuat yang diindikasikan sebagai hidrokarbon pada kedalaman yang lebih dangkal (Gambar 13).



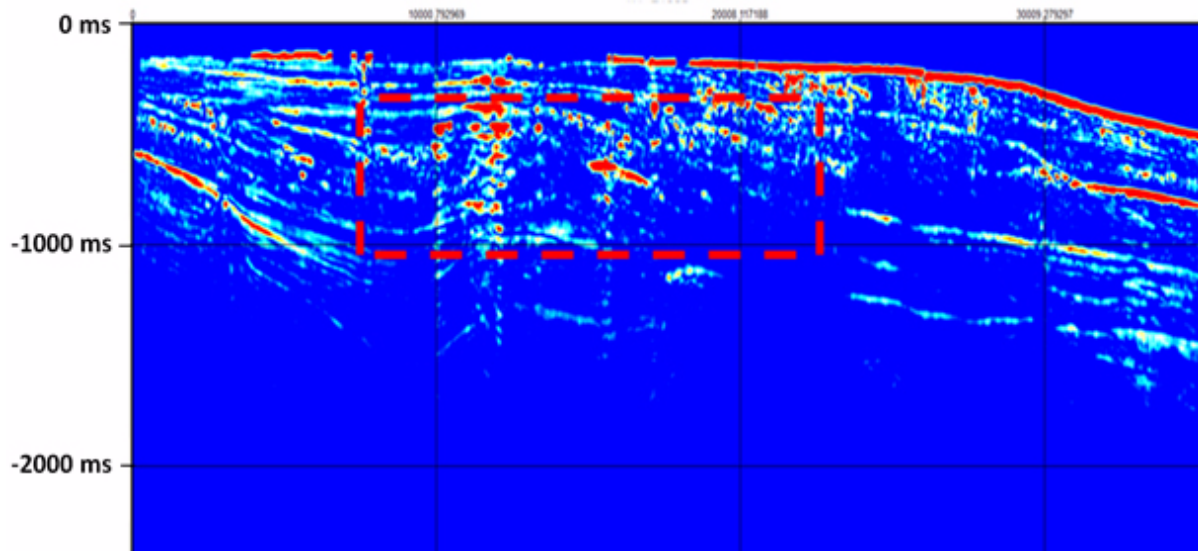
Gambar 10. Hasil metode spectral decomposition pada CDP 876 PUSDATIN LINTASAN 1



Gambar 11. Hasil metode atribut spectral decomposition pada data seismik PUSDATIN LINTASAN 1



Gambar 12. Hasil metode atribut spectral decomposition pada data seismik PUSDATIN LINTASAN 2



Gambar 13. Hasil metode atribut spectral decomposition pada data seismik hasil akuisisi PPPGL

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini indikasi keberadaan hidrokarbon di perairan Utara Bali ini dapat diidentifikasi menggunakan metode *sweetness* dan *spectral decomposition* dan telah dikonfirmasi melalui data hasil pemboran. Nilai metode atribut *sweetness* yang mengindikasikan keberadaan gas berada di nilai 1600 – 2200, sedangkan kehadiran gas pada metode *spectral decomposition* dapat diidentifikasi pada nilai frekuensi 20 - 30 Hz. Pada data seismik PUSDATIN LINTASAN 1 indikasi keberadaan hidrokarbon muncul pada kedalaman 700 – 1000 milidetik, begitu pun pada data seismik PUSDATIN LINTASAN 2 anomali tersebut juga muncul pada kedalaman yang sama, sementara itu hasil akuisisi PPPGL menunjukkan indikasi

keberadaan hidrokarbon muncul pada kedalaman mulai dari 500 milidetik hingga 1000 milidetik, hal ini menunjukkan bahwa di Perairan Utara Bali terdapat potensi keberadaan hidrokarbon pada kedalaman yang lebih dangkal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan yang telah memberikan izin penggunaan data penelitian. Juga kepada Koordinator Kelompok Pelaksana Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Migas Kelautan (Migas) serta seluruh anggota Tim Penelitian Gas Biogenik Perairan Utara Bali dan rekan-rekan di KP3 Migas Kelautan yang telah membantu dan memberikan masukan dan saran pada tulisan ini

DAFTAR ACUAN

- Allen, James L., C. P. Peddy, and Timothy L. Fasnacht. 1993. "Some AVO Failures and What (We Think) We Have Learned." *The Leading Edge* 12 (3): 162–67.
- Bassiouni, Zaki, 1994, Theory, Measurement, and Interpretation of Well Logs; *SPE Textbook Series Vol. 4: Society of Petroleum Engineers, Richardson, Texas.*
- Castagna, J. P., Sun, S. and Siegfried, R. W., 2003. Instantaneous spectral analysis: Detection of low frequency shadows associated with hydrocarbons, *The Leading Edge*, 22, no.2, 120-127.
- Dewan, J.T.: Essentials of Modern Openhole Log Interpretation, Pennwell Publishing, Ok (1983)
- Doust, Harry, and Ron A. Noble. 2008. "Petroleum Systems of Indonesia." *Marine and Petroleum Geology* 25 (2): 103–29.
- Goloshubin, Gennady, Connie VanSchuyver, Valeri Korneev, Dmitry Silin, and Vjacheslav Vingalov. 2006. "Reservoir Imaging Using Low Frequencies of Seismic Reflections." *The Leading Edge* 25 (5): 527–31.
- Koson, Sanhasuk, Piyaphong Chenrai, and Montri Choowong. 2014. "Bulletin of Earth Sciences of Thailand Seismic Attributes and Their Applications in Seismic Geomorphology" 6 (1): 1–9.
- Mudjiono, R. dan Pireno, G. E. 2002. Exploration Of The North Madura Platform, Offshore East Java, Indonesia. *28th Annual Convention Proceeding, Indonesian Petroleum Association.*
- Munadi Suprajitno, Humbang Purba and Rosie A.S. 2012. "Differentiating Oil, Gas and Water in Seismic Section Using Spectral Decomposition." *Scientific Contribution Oil & Gas* 35 : 83-90.
- Naseer, M.T., and S. Asim. 2017. "Detection of Cretaceous Incised-Valley Shale for Resource Play, Miano Gas Field, SW Pakistan: Spectral Decomposition Using Continuous Wavelet Transform." *Journal of Asian Earth Sciences* 147 (August 2016).
- Partyka, G., Gridley, J., Lopez, J., 1999, Interpretation Application of Spectral Decomposition in Reservoir Characterization, *The Leading Edge*.
- Radovich, B.J., and Oliveros, R.B., 1998. 3D sequence interpretation of seismic instantaneous attributes from the Gorgon Field. *The Leading Edge*, v.17, 1286- 1293
- Schlumberger, 1958. *Log Interpretation Principles / Applications*, Schlumberger Educational Services. Houston. Texas.
- Sudarmadji. 2013. "Identifikasi Reservoir Batu Pasir Tersaturasi Minyak Menggunakan Analisa Frekuensi Rendah Berbasis CWT dan AVO." *Berkala MIPA*, 23: 34–42.
- Realisasi survey seismik 2D di Indonesia <http://statistik.migas.go.id> diakses pada tanggal 22 – 08 – 2017 pukul 20.04 WIB.

